Excitation d'ondes à la surface de l'eau circulaires et rectilignes

Objectifs expérimentaux

- Excitation d'ondes à la surface de l'eau circulaires avec l'excitateur d'ondes circulaires
- Excitation d'ondes à la surface de l'eau rectilignes avec l'excitateur d'ondes rectilignes
- Observation des mouvements de l'eau dans une onde et comparaison avec la propagation des ondes
- Mesure de la longueur d'onde λ d'une onde à la surface de l'eau pour différentes fréquences d'excitation f et calcul de la vitesse d'ondes v
- Mesure de la vitesse de propagation v_{gr} d'un paquet d'ondes

Principes de base

Les relations générales valables pour les ondes peuvent être démontrées aisément dans le cas des ondes à la surface de l'eau, puisque celles-ci sont observables à l'oeil nu et quasiment bi-dimensionnelles. Les termes de base concernant la propagation des ondes comme front d'ondes, direction de propagation, paquet d'ondes, énergie de transport, vitesse des ondes, vitesse de propagation, ondes rectilignes (ondes planes), et ondes circulaires peuvent ainsi être introduits de manière pratique.

Les ondes à la surface de l'eau sont produites dans une cuve à ondes remplie d'eau, dont le fond est composé d'une plaque en verre. Les vibrations d'une membrane dans l'appareil d'alimentation sont transmises à la surface de l'eau par changements de pression atmosphérique, au moyen d'excitateurs d'ondes.

Si l'on éclaire la cuve à ondes avec une lampe ponctuelle, les crêts d'ondes qui se comportent comme des lentilles convergentes produisent des lignes claires sur l'écran, les creux d'ondes qui se comportent comme des lentilles divergentes produisent des lignes sombres. Un éclairage stroboscopique est synchronisé avec le générateur de fréquence de la membrane d'excitation pour la représentation d'une image fixe.

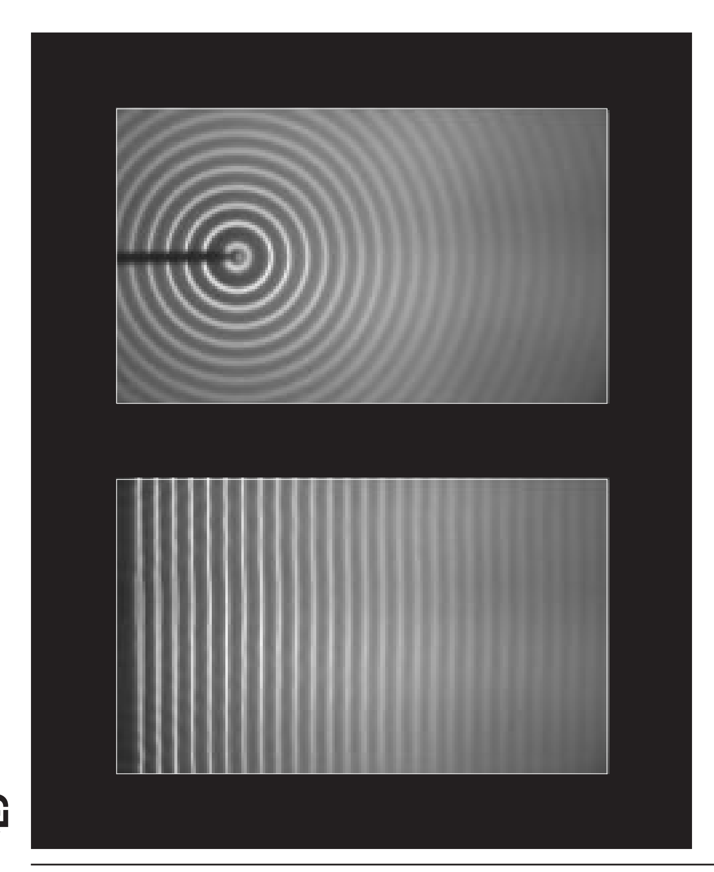


Fig. 1 Propagation des ondes à la surface de l'eau (photos)
En haut: ondes circulaires
En bas: ondes rectilignes

0606-Brn



Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401 501
1 chronomètre . . . . par ex 313 031
1 règle . . . . par ex 311 77

en complément:

Liquide vaisselle, boules de polystyrène (diam. 1 mm env.) ou copeaux de papier

Montage

Le montage expérimental est représenté en fig. 2.

– monter la cuve à ondes sur une surface stable; se référer au mode d'emploi de la cuve à ondes.

Réalisation

a) Production d'ondes circulaires :

– relier un excitateur d'ondes circulaires, voir fig. 3.

– régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton **(e)** et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton **(d)**, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).

– éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)**, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.

– éventuellement faire varier la profondeur d'immersion à l'aide de la vis de réglage **(h1)**.

– brancher le stroboscope avec l'interrupteur **(a)** pour observer les ondes stationnaires. Après un bref temps de démarrage, éventuellement refaire le réglage fin de la synchronisation de la fréquence de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton **(b)** jusqu'à obtention d'une image d'onde stationnaire.

– régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 80 Hz et observer les images d'ondes. Refaire le réglage de la synchronisation et de l'amplitude si nécessaire.

b) Production d'ondes rectilignes :

– brancher l'excitateur d'ondes rectilignes selon la fig. 4

– régler la fréquence à 20 Hz et augmenter doucement l'amplitude d'excitation, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes)

– éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à onde soit totalement éclairée.

– brancher le stroboscope pour observer les ondes stationnaires. Après un bref temps de démarrage, éventuellement refaire le réglage fin de la synchronisation de la fréquence de l'excitateur et du stroboscope, jusqu'à obtention d'une image d'ondes stationnaires.

– régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 80 Hz et observer les images d'ondes. Refaire le réglage de la synchronisation et de l'amplitude si nécessaire.

c) Observation du mouvement de l'eau dans une onde et comparaison avec la propagation des ondes :

– débrancher le stroboscope, sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons si nécessaire.

– pour différentes fréquences d'excitation; introduire quelques boules de polystyrène ou copeaux de papier, puis observer leur position et la comparer à la propagation des ondes.

d) Mesure de la longueur d'onde l pour différentes fréquences d'excitation *f* et calcul de la vitesse d'ondes *v* :

– brancher le stroboscope et produire une image d'ondes fixe par synchronisation.

– mesurer l'écart entre deux fronts d'ondes sur l'écran **(g)**. Tenir compte de l'échelle d'affichage pour déterminer la longueur d'onde réelle (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).

– régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 80 Hz et mesurer les longueurs d'onde comme indiqué en haut.

– calculer les vitesses d'ondes ($v = \lambda \cdot f$) correspondantes à la longueur d'onde mesurée et à la fréquence choisie.

e) Mesure de la vitesse de propagation vgr d'un paquet d'ondes:

– pour mesurer la vitesse de propagation v_{gr} , placer un tiroir de recouvrement, en tant que marquage, sur la plaque de verre à 20 cm de l'excitateur.

– si nécessaire, sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, tourner le bouton d'amplitude **(d)** entièrement vers la gauche. Veiller à ce que l'excitateur d'ondes soit en contact avec l'eau sur toute sa longueur et que les fronts d'ondes produits soient visibles sur le marquage.

– pour l'excitation d'une onde unique **(c)**, activer simultanément le chronomètre et le bouton.

– mesurer le temps *t* que met le paquet d'ondes pour parcourir la distance *s*. Calculer la vitesse de propagation.

Exemple de mesure et exploitation

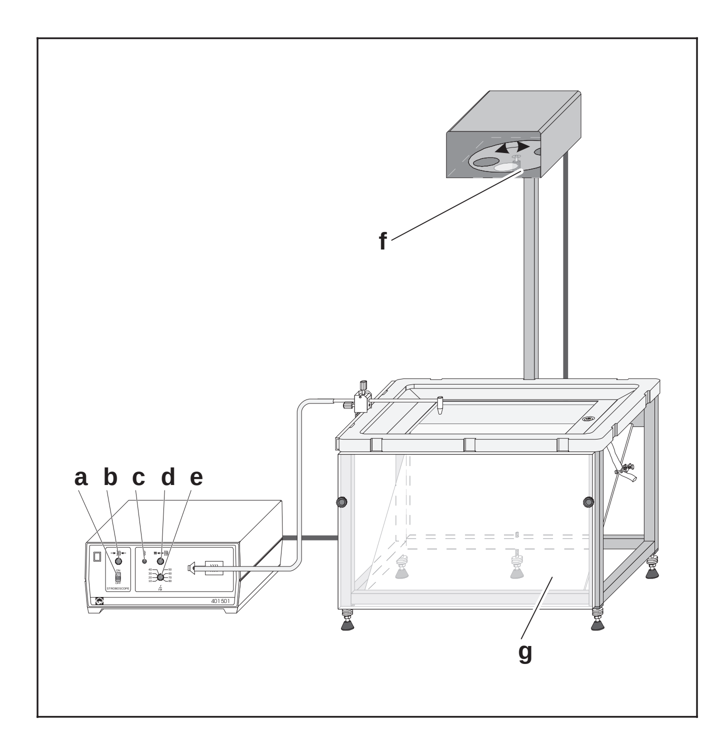
Deux photographies avec exemples de mesure sont représentées en Fig. 1.

Tableau1: longueur d'onde λ et vitesse d'onde *v* d'ondes à la surface de l'eau en fonction de la fréquence d'excitation *f*

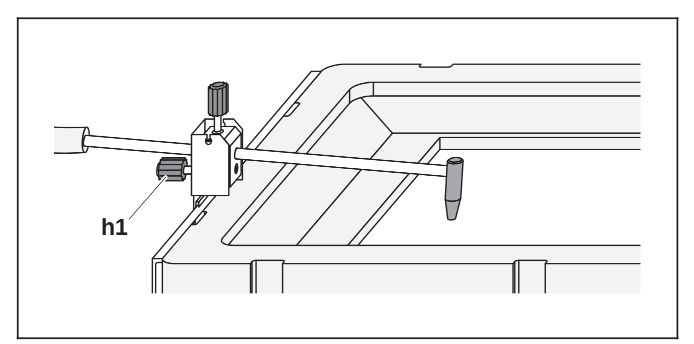
$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{\lambda}{\text{cm}}$	$\frac{v}{\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}}$
10	2,1	21
20	1,1	22
30	0,8	24
40	0,6	24
50	0,4	20
60	0,4	24
70	0,3	21
80	0,3	24

Tableau2: vitesse de propagation d'un paquet d'ondes

$\frac{s}{\text{cm}}$	$\frac{t}{\text{s}}$	$\frac{v_{gr}}{\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}}$
20	1	20







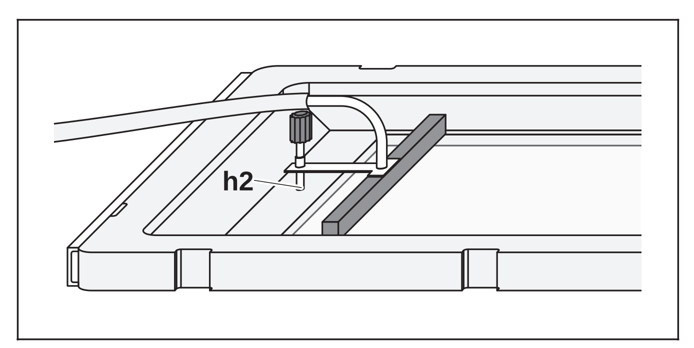


Fig. 2 Montage expérimental (pour l’excitation d’ondes circulaires)
a interrupteur du stroboscope
b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
c bouton poussoir (excitation d’ondes uniques)
d bouton (réglage de l‘amplitude de l’excitation d’ondes)
e bouton (réglage de la fréquence de l‘excitation d’ondes)
f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
g écran d’observation

Fig. 3 Raccord d’un excitateur d’ondes circulaires
h1 vis de réglage (réglage de la profondeur d’immersion)

Fig. 4 Raccord d’un excitateur d’ondes rectilignes
h2 vis de réglage (réglage de la profondeur d’immersion)

Résultats

Les ondes générées par un excitateur ponctuel se propagent de manière radiale avec les fronts d’ondes circulaires.

Les ondes générées par un excitateur rectiligne se propagent de manière rectiligne avec les fronts d’onde rectilignes, perpendiculaires à la direction de propagation.

L’amortissement entraîne une diminution continue de l’amplitude. Le contraste de l’image d’onde diminue lorsque la distance à l’excitateur augmente.

La propagation d’onde n’est pas un phénomène où de l’eau est transportée, mais est soumise à des oscillations. C’est l’énergie d’oscillation qui est transportée.

Pour des fréquences comprises entre 10 et 80 Hz, la longueur d’onde diminue lorsque la fréquence augmente.

La vitesse de propagation v_{gr} d’un paquet d’ondes est conforme à la vitesse d’onde calculée à partir de la fréquence et de la longueur d’onde, selon la précision des mesures.

Information complémentaire

Pour les ondes à la surface de l’eau, la force de répulsion agissant sur une particule d’eau en oscillation (meilleur pouvoir rotatif) est déterminée par l’accélération de la pesanteur et par la tension superficielle. La vitesse de phase v (ou vitesse d’onde) dépend de la longueur d’onde λ :

$$v = \sqrt{g \cdot \frac{\lambda}{2\pi} + \frac{\sigma}{\rho} \cdot \frac{2\pi}{\lambda}} \qquad \text{(I).}$$

(g: accélération de la pesanteur, σ: tension superficielle, ρ: densité)

Pour λ > 1,7 cm, l’accélération de la pesanteur est prépondérante, on parle d’ondes de gravité. La vitesse d’onde augmente avec la longueur d’onde. Pour λ < 1,7 cm, la tension superficielle est prépondérante, on parle d’ondes de capillarité. La vitesse d’onde diminue lorsque la longueur d’onde augmente.

En raison de la dispersion décrite, la vitesse de phase v et la vitesse de propagation vgr sont différentes. La dispersion du domaine étudié (λ = 1,7 cm) est toutefois si faible, que l’on peut considérer que la vitesse de phase et la vitesse de propagation sont égales.

L’équation (I) ne donne des résultats exacts que pour une profondeur d’eau suffisante. Dans de l’eau peu profonde de profondeur h, la vitesse d’onde des ondes de gravité est donnée par la relation

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)} \qquad \text{(II).}$$